

10/01 2004 / 002003

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

103 55 602.8

Anmeldetag:

28. November 2003

Anmelder/Inhaber:

Osram Opto Semiconductors GmbH,
93049 Regensburg/DE

Bezeichnung:

Optoelektronisches Bauelement mit einer
Wärmesenke

IPC:

H 01 L 33/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 4. Februar 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hoß

Beschreibung

Optoelektronisches Bauelement mit einer Wärmesenke

Bei strahlungsemittierenden optoelektronischen Bauelementen für den Hochleistungsbetrieb ist eine geeignete Abfuhr der als Wärme auftretenden Verlustleistung erforderlich, da sich eine Aufheizung des Bauelements nachteilig auf die optischen Eigenschaften und die Langzeitstabilität auswirkt. Insbesondere kann eine Temperaturerhöhung eine Verschiebung der Wellenlänge, einen reduzierten Wirkungsgrad, eine verkürzte Lebensdauer oder sogar die Zerstörung des Bauelements bewirken. Aus diesem Grund werden optoelektronische Bauelemente im Hochleistungsbetrieb oftmals auf einer Wärmesenke montiert. Es sind sowohl passive Wärmesenken, beispielsweise ein Kupferblock, als auch aktive Wärmesenken, zum Beispiel Wärmesenken mit einem von einer Flüssigkeit durchströmten Mikrokanalsystem bekannt.

Eine Mikrokanalwärmesenke für Hochleistungslaserdioden ist zum Beispiel in der DE 43 15 580 A1 beschrieben. Um eine gute Wärmeabfuhr zu gewährleisten, wird bei derartigen Mikrokanalwärmesenken versucht, den Wärmewiderstand zwischen dem Bauelement und der Wärmesenke möglichst gering zu halten. Dies erfolgt beispielsweise dadurch, daß die Wandstärke der Wände zwischen den Mikrokanälen beziehungsweise der Außenwand der Wärmesenke an der an das optoelektronische Bauelement angrenzenden Seite gering gehalten werden. Dadurch wird neben dem thermischen Widerstand auch die Wärmekapazität der Wärmesenke erniedrigt.

Der zeitliche Verlauf der Temperaturänderungen eines optoelektronischen Bauelements bei einem Schaltvorgang läßt sich oftmals näherungsweise durch die exponentiellen Funktionen

$$\Delta T(t-t_1) = \Delta T_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t-t_1}{\tau}} \right) \text{ bei Temperaturanstiegen bzw.}$$

$$\Delta T(t-t_2) = \Delta T(t=t_2) e^{-\frac{t-t_2}{\tau}} \text{ bei Temperaturabnahmen beschreiben.}$$

$\Delta T(t)$ ist die Temperaturänderung, also die Differenz zwischen der aktuellen Temperatur und der Ausgangstemperatur, zum Zeitpunkt t , wobei t_1 bzw. t_2 die zugehörigen Schaltzeitpunkte für einen Temperaturanstieg bzw. eine Temperaturabnahme sind. ΔT_{∞} ist der Grenzwert der Temperaturerhöhung, gegen die $\Delta T(t)$ für $t \rightarrow \infty$ konvergieren würde. Dieser Grenzwert würde in etwa bei längerer Betriebszeit im cw-Betrieb erreicht werden.

Üblicherweise wird versucht, diesen Grenzwert zu minimieren, um die Maximaltemperatur des Bauelements möglichst gering zu halten. ΔT_{∞} hängt insbesondere vom Wärmewiderstand zwischen dem optoelektronischen Bauelement und der Wärmesenke ab. τ ist eine thermische Zeitkonstante, die ebenfalls von verschiedenen Parametern, wie beispielsweise der Wärmekapazität, dem Wärmewiderstand zur Wärmesenke oder der wärmeabstrahlenden Fläche des Bauelements abhängt. Je größer τ ist, desto langsamer erfolgen die Temperaturänderungen.

Bei optoelektronischen Bauelementen, die gepulst betrieben werden, besteht insbesondere bei geringen Frequenzen die Gefahr, daß das Bauelement mechanischen Wechselbelastungen aufgrund von Temperaturänderungen mit der Pulsfrequenz ausgesetzt wird. Dies hat mechanische Wechselbelastungen zur Folge, durch die das Bauelement in seiner Funktion beeinträchtigt oder sogar zerstört werden könnte.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein optoelektronisches Bauelement mit einer Wärmesenke zu schaffen, bei dem die durch den Pulsbetrieb entstehenden mechanischen Wechsel-

belastungen vermindert sind. Weiterhin soll ein Verfahren zu dessen Herstellung angegeben werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein optoelektronisches Bauelement nach Patentanspruch 1 bzw. ein Verfahren nach Patentanspruch 12 oder Patentanspruch 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Erfindungsgemäß ist bei einem strahlungsemittierenden optoelektronischen Bauelement, das mit einer Wärmesenke verbunden ist, und für einen gepulsten Betrieb mit der Pulsdauer D vorgesehen ist, und bei dem im gepulsten Betrieb Temperaturänderungen des optoelektronischen Bauelements mit einer thermischen Zeitkonstanten τ erfolgen, die thermische Zeitkonstante τ zur Verringerung der Amplitude der Temperaturänderungen an die Pulsdauer D angepaßt. Unter der Amplitude der Temperaturänderungen wird die Differenz zwischen der höchsten und der niedrigsten Temperatur des optoelektronischen Bauelements während eines Pulses verstanden. Die thermische Zeitkonstante ist die Konstante τ in den zuvor angegebenen Gleichungen für $\Delta T(t)$. Bei einem von diesen Beziehungen abweichenden Temperaturverlauf soll im Rahmen der Erfindung unter der thermischen Zeitkonstante τ eines optoelektronischen Bauelements die beste Näherung für τ verstanden werden, die beispielsweise durch eine Kurvenanpassung der oben genannten Gleichungen an den tatsächlichen Temperaturverlauf ermittelt werden kann. Im Zweifel kann hierfür die Zeit herangezogen werden, die einem gegebenenfalls extrapolierten Temperaturabfall auf das $1/e$ -fache der Ausgangstemperatur entspricht.

Bevorzugt gilt für die thermische Zeitkonstante τ der Temperaturänderungen des optoelektronischen Bauelements während des gepulsten Betriebs $\tau \geq 0,5 D$. Besonders bevorzugt gilt $\tau \geq D$.

Mit einer derartig an den gepulsten Betrieb angepaßten thermischen Zeitkonstante wird vorteilhaft erreicht, daß die Temperaturänderungen während des gepulsten Betriebs verhältnismäßig gering ausfallen. Eine mechanische Wechselbelastung des optoelektronischen Bauelements durch temperaturbedingte mechanische Spannungen wird dadurch verringert.

Beispielsweise beträgt $\Delta T(t)$ zum Ende eines Pulses, also für $t = D$, für $\tau = 0,5 D$ etwa $0,86 \Delta T_0$ und für $\tau = D$ etwa $0,63 \Delta T_0$. Es kann auch vorteilhaft sein, größere Werte für τ zu verwenden, um die Temperaturerhöhung am Ende eines Pulses noch weiter zu verringern. Beispielsweise beträgt $\Delta T(t = D)$ für $\tau = 2D$ etwa $0,39 \Delta T_0$ oder für $\tau = 3D$ etwa $0,283 \Delta T_0$.

Einer derartigen Optimierung der thermischen Zeitkonstante liegt die Erkenntnis zugrunde, daß Temperaturänderungen neben der erreichten Maximaltemperatur einen entscheidenden Einfluß auf die Langzeitstabilität des Bauelements haben. Deshalb ist es sinnvoll, die Amplitude der Temperaturänderungen zu minimieren.

Für eine Erhöhung der thermischen Zeitkonstante τ sind unter Umständen Maßnahmen erforderlich, die eine Erhöhung des Wärmewiderstands zwischen der Wärmesenke und dem optoelektronischen Bauelement bewirken. Dies kann eine Erhöhung des Grenzwerts ΔT_0 zur Folge haben. Andererseits sollte aber die Wärmeabfuhr von dem optoelektronischen Bauelement zur Wärmesenke groß genug sein, daß die nach längerer Betriebszeit erreichte Maximaltemperatur einen noch akzeptablen Wert nicht übersteigt. In der Regel muß daher ein Kompromiß zwischen einem akzeptablen Wert für ΔT_0 und einem akzeptablen Wert für τ gefunden werden.

Bei der Erfindung wird also zur Verbesserung der Langzeitstabilität bei gepulsten optoelektronischen Bauelementen dadurch erzielt, daß eine Verringerung der Temperaturänderungen im Hinblick auf die Langzeitstabilität des Bauelements selbst

dann vorteilhaft ist, wenn die verringerten Änderungen auf einem etwas höheren Temperaturniveau erfolgen als größere Änderungen auf einem vergleichsweise etwas niedrigerem Temperaturniveau.

Die Temperaturänderungen während des Pulsbetriebs sind bei der Erfindung bevorzugt auf einen Wert, der geringer ist als $\Delta T = 12 \text{ K}$, reduziert.

Besonders vorteilhaft ist die Erfindung für strahlungsemitierende optoelektronische Bauelemente, deren Ausgangsleistung 30 W oder mehr beträgt und/oder deren Pulsfrequenz zwischen 0,1 Hz und 10 Hz beträgt. Insbesondere kann das strahlungsemitierende optoelektronische Bauelement ein Laserdiodenbarren sein.

Die Wärmesenke, mit der das optoelektronische Bauelement verbunden ist, ist bevorzugt eine aktiv gekühlte Wärmesenke. Diese kann beispielsweise ein von einem Kühlmittel, zum Beispiel Wasser, durchströmtes Mikrokanalsystem aufweisen.

Das optoelektronische Bauelement ist beispielsweise mit einer Lötverbindung mit einer Oberfläche der Wärmesenke verbunden.

Die thermische Zeitkonstante τ wird vorteilhaft durch die Wandstärke einer an das optoelektronische Bauelement angrenzenden Wand des Mikrokanalsystems dimensioniert. Diese Wandstärke beträgt bevorzugt 1 mm oder mehr.

Die Wärmesenke kann insbesondere Kupfer enthalten. Es sind im Rahmen der Erfindung aber auch andere Materialien, die eine gute thermische Leitfähigkeit aufweisen, denkbar.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 3 näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen schematisch dargestellten Querschnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines optoelektronische Bauelements gemäß der Erfindung,

Figur 2 eine Simulation der Erwärmung eines optoelektronischen Bauelements auf einer Zeitskala von 0 ms bis 300 ms für vier verschiedene Ausführungsformen einer Wärmesenke und

Figur 3 eine Simulation der Erwärmung eines optoelektronischen Bauelements auf einer Zeitskala von 0 ms bis 1000 ms für vier verschiedene Ausführungsformen einer Wärmesenke.

Das in Figur 1 schematisch dargestellte optoelektronische Bauelement 1 ist mit einer Wärmesenke 3 verbunden. Dazu ist es beispielsweise mit einer Lötverbindung 2 auf einer Oberfläche 8 der Wärmesenke 3 befestigt. Die Wärmesenke 3 ist in diesem Beispiel eine aktiv gekühlte Wärmesenke, die ein Mikrokanalsystem 6 mit einem Zulauf 4 und einem Ablauf 5 für ein Kühlmittel aufweist, das das Mikrokanalsystem 6 durchströmt. Das Kühlmittel ist eine Flüssigkeit, insbesondere Wasser, oder ein Gas.

Das strahlungsemittierende optoelektronische Bauelement 1 emittiert Pulse mit einer Pulsdauer D . Insbesondere kann das optoelektronische Bauelement 1 ein Hochleistungsdiode-Laser oder ein Hochleistungsdiode-Laserbarren sein. Besonders vorteilhaft ist die Erfindung für strahlungsemittierende optoelektronische Bauelemente 1, die eine Ausgangsleistung von 30 W oder mehr aufweisen.

Die Pulse werden mit einer Pulsfrequenz f emittiert, die beispielsweise zwischen 0,1 Hz und 10 Hz beträgt. Die Pulsdauer D ist kleiner als die Periode $t_p = 1 / f$. Das Verhältnis der Pulsdauer D zur Periode t_p wird üblicherweise als Tastverhältnis q bezeichnet, es gilt also $D = q * t_p$.

Die Wärmesenke 3 dient einerseits dazu, die durch die Verlustleistung des optoelektronischen Bauelements 1 entstehende Wärme abzuführen. Durch eine Einstellung der thermischen Konstanten τ auf einen Wert $\tau > 0,5 D$, bevorzugt $\tau > D$, werden auch die Temperaturänderungen im Pulsbetrieb reduziert.

Die thermische Zeitkonstante τ kann beispielsweise durch die Dimensionierung der Wandstärke 7 der an das optoelektronische Bauelement 1 angrenzenden Wand der Wärmesenke 3 eingestellt werden. Diese Wandstärke entspricht dem Abstand zwischen der dem optoelektronischen Bauelement 1 zugewandten Oberfläche 8 der Wärmesenke 3 und dem der Oberfläche 8 nächstliegenden Mikrokanal 6.

Eine Erhöhung der Wandstärke 7 bewirkt eine Vergrößerung der thermischen Zeitkonstanten τ . Dies verdeutlichen die in den Figuren 2 und 3 dargestellten Simulationsrechnungen der Zeitabhängigkeit der Temperaturerhöhung ΔT eines optoelektronischen Bauelements 1 für verschiedene Werte der Wandstärke 7. Die Kurve 9 stellt den zeitlichen Verlauf der Temperaturerhöhung für eine aktiv gekühlte Wärmesenke mit einer Wandstärke von 0,1 mm dar, die Kurve 10 für eine aktiv gekühlte Wärmesenke 3, bei der die Wandstärke 7 gleich 1 mm ist, die Kurve 11 für eine aktiv gekühlte Wärmesenke 3, bei der die Wandstärke 7 gleich 2 mm ist und die Kurve 12 für eine passive Wärmesenke, die durch einen Kupferblock ohne aktiv gekühltes Mikrokanalsystem gebildet ist. Die thermischen Zeitkonstanten τ betragen etwa 10 ms bei 0,1 mm Wandstärke (Kurve 9), etwa 20 ms bei 1 mm Wandstärke (Kurve 10), etwa 60 ms bei 2 mm Wandstärke (Kurve 11) und etwa 400 ms bei der passiven Wärmesenke (Kurve 12).

Eine Erhöhung der thermischen Zeitkonstanten τ , die bei den Kurven 9 und 10 durch eine Verstärkung der Wandstärken 7 erreicht wird, oder bei der Kurve 12 durch die Verwendung einer passiven Wärmesenke erreicht wird, ist vorteilhaft, wenn die

thermische Zeitkonstante τ größer als die Hälfte der Pulsdauer D , bevorzugt größer als die Pulsdauer D , ist. Im ersten Fall erreicht die Temperaturerhöhung ΔT maximal etwa 86% des Grenzwerts ΔT_{∞} , und im zweiten Fall etwa 63% des Grenzwerts ΔT_{∞} .

Bei einer Pulsdauer von zum Beispiel $D = 25$ ms ist der Erfindung entsprechend die Bedingung $\tau > 0,5 D$ für die aktive Wärmesenke mit 1 mm Wandstärke (Kurve 10) erfüllt, da für diese $\tau = 20$ ms beträgt und damit größer als $0,5 D = 12,5$ ms ist. Das gilt auch für die Wärmesenke mit 2 mm Wandstärke (Kurve 11) mit $\tau = 60$ ms und die passive Wärmesenke (Kurve 12) mit $\tau = 400$ ms. Für die aktive Wärmesenke mit 0,1 mm Wandstärke (Kurve 9) mit $\tau = 10$ ms ist diese Bedingung dagegen nicht erfüllt. Die bei der Erfindung bevorzugte Bedingung $\tau > D$ ist für diese Pulsdauer nur für die aktive Wärmesenke mit 2 mm Wandstärke (Kurve 11) und für die passive Wärmesenke (Kurve 12) erfüllt. Wie aus Fig. 2 deutlich hervorgeht, wird durch die erfindungsgemäße Anpassung der thermischen Zeitkonstante τ an die Pulsdauer D eine vorteilhafte Verringerung der Temperaturänderungen während des Pulsdauer erreicht.

Im Gegensatz zu einem optoelektronischen Bauelement im Pulsbetrieb ist eine Vergrößerung der Wandstärke 7 oder die Verwendung einer passiven Wärmesenke für ein optoelektronisches Bauelement im cw-Betrieb unvorteilhaft, da sich in diesem Fall, wie in Figur 3 simuliert, nach längerer Betriebszeit ein höherer Wert der Temperaturerhöhung ΔT einstellen würde. Dies ist dadurch begründet, daß die aktiv gekühlten Wärmesenken mit einer vergrößerten Wandstärke 7 oder die passive Wärmesenke einen erhöhten thermischen Widerstand zwischen dem optoelektronischen Bauelement 1 und der Wärmesenke 3 aufweisen.

Für ein optoelektronisches Bauelement, daß für die Verwendung im Pulsbetrieb vorgesehen ist, ist es durch die Dimensionierung der Wandstärke der Wärmesenke mit verhältnismäßig gerin-

gem Aufwand Weise möglich, die thermische Zeitkonstante zu variieren und so eine an den Pulsbetrieb optimal angepaßte Wärmesenke bereitzustellen. Es sind aber auch anderer Alternativen zur Einstellung der thermischen Zeitkonstante τ in Abhängigkeit von der vorgesehenen Pulsdauer denkbar. Beispielsweise könnte auch die Fläche und/oder die Dicke des Substrats, auf dem das optoelektronische Bauelement ausgebildet ist, variiert werden.

Die Erläuterung der Erfindung anhand des Ausführungsbeispiels ist selbstverständlich nicht als Einschränkung auf dieses zu verstehen. Vielmehr umfaßt die Erfindung die offenbarten Merkmale sowohl einzeln als auch in jeder Kombination miteinander, auch wenn diese Kombinationen nicht explizit in den Ansprüchen angegeben sind.

Patentansprüche

1. Strahlungsemittierendes optoelektronisches Bauelement (1), das mit einer Wärmesenke (3) verbunden ist, und für einen gepulsten Betrieb mit der Pulsdauer D vorgesehen ist, wobei beim gepulsten Betrieb Temperaturänderungen des optoelektronischen Bauelements mit einer thermischen Zeitkonstanten τ erfolgen, dadurch gekennzeichnet, daß die thermische Zeitkonstante τ zur Verringerung der Amplitude der Temperaturänderungen an die Pulsdauer D angepaßt ist.
2. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die thermische Zeitkonstante τ gilt: $\tau > 0,5 D$.
3. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die thermische Zeitkonstante τ gilt: $\tau > D$.
4. Optoelektronisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturänderungen geringer als $\Delta T = 12 \text{ K}$ sind.
5. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der gepulste Betrieb mit einer Pulsfrequenz im Bereich zwischen 0,1 Hz und 10 Hz erfolgt.
6. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es eine optische Ausgangsleistung aufweist, die 30 W oder mehr beträgt.

7. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Wärmesenke (3) aktiv gekühlt ist.
8. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Wärmesenke (3) einen oder mehrere von einem Kühlmittel durchströmte Mikrokanäle (6) aufweist.
9. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
eine an das optoelektronische Bauelement (1) angrenzende Wand der Wärmesenke eine Wandstärke (7) von 1 mm oder mehr aufweist.
10. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Wärmesenke (3) Kupfer enthält.
11. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
das optoelektronische Bauelement (1) ein Laserdiodenbarren ist.
12. Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Bauelements nach einem der Ansprüche 8 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, daß
eine an das optoelektronische Bauelement (1) angrenzende Wand der Wärmesenke (3) eine Wandstärke (7) aufweist und
die Temperaturänderung und/oder die Maximaltemperatur des Bauelements (1) im Betrieb durch die Dimensionierung der Wandstärke (7) eingestellt wird.

13. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemittierenden optoelektronischen Bauelements (1), das mit einer Wärmesenke (3) verbunden ist, und für einen gepulsten Betrieb mit der Pulsdauer D vorgesehen ist, wobei beim gepulsten Betrieb Temperaturänderungen des optoelektronischen Bauelements mit einer thermischen Zeitkonstanten τ erfolgen, dadurch gekennzeichnet, daß die thermische Zeitkonstante τ zur Verringerung der Amplitude der Temperaturänderung an die Pulsdauer D angepaßt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die thermische Zeitkonstante τ durch die Dimensionierung der Fläche und/oder der Dicke eines Substrats, auf dem das optoelektronische Bauelement (1) hergestellt wird, eingestellt wird.

Zusammenfassung

Optoelektronisches Bauelement mit einer Wärmesenke

Bei einem strahlungsemitierenden optoelektronischen Bauelement (1), das mit einer Wärmesenke (3) verbunden ist, und für einen gepulsten Betrieb mit der Pulsdauer D vorgesehen ist, und bei dem im gepulsten Betrieb Temperaturänderungen des optoelektronischen Bauelements (1) mit einer thermischen Zeitkonstanten τ erfolgen, ist die thermische Zeitkonstante τ zur Verringerung der Amplitude der Temperaturänderungen an die Pulsdauer D angepaßt. Bevorzugt gilt für die thermische Zeitkonstante τ der Temperaturänderungen des optoelektronischen Bauelements während des gepulsten Betriebs $\tau \geq 0,5 D$. Die Amplitude der Temperaturänderungen im Pulsbetrieb und damit verbundene mechanische Wechselbelastungen werden dadurch vorteilhaft reduziert.

Figur 1

1/2

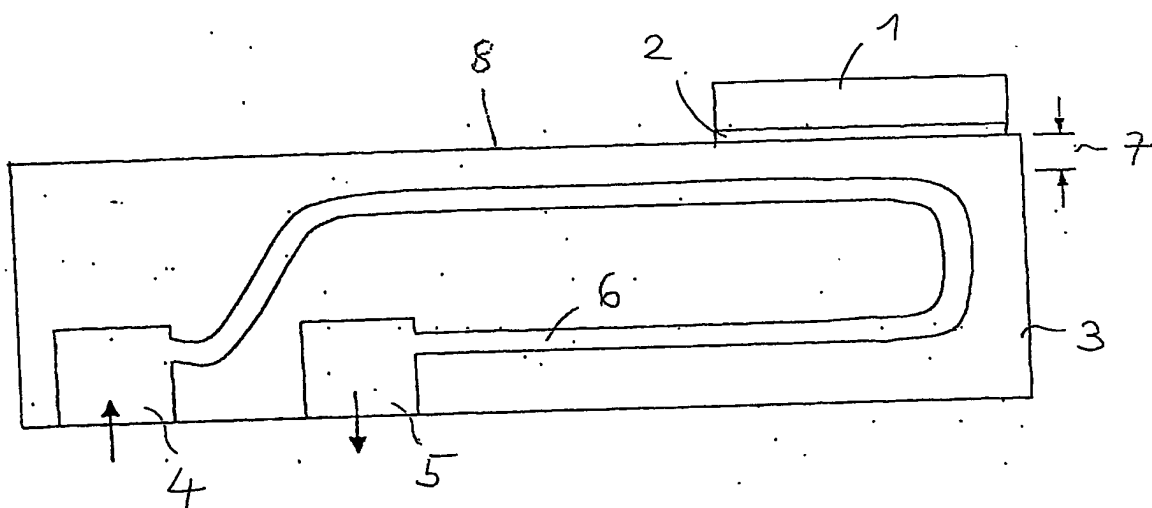


Fig. 1

2/2

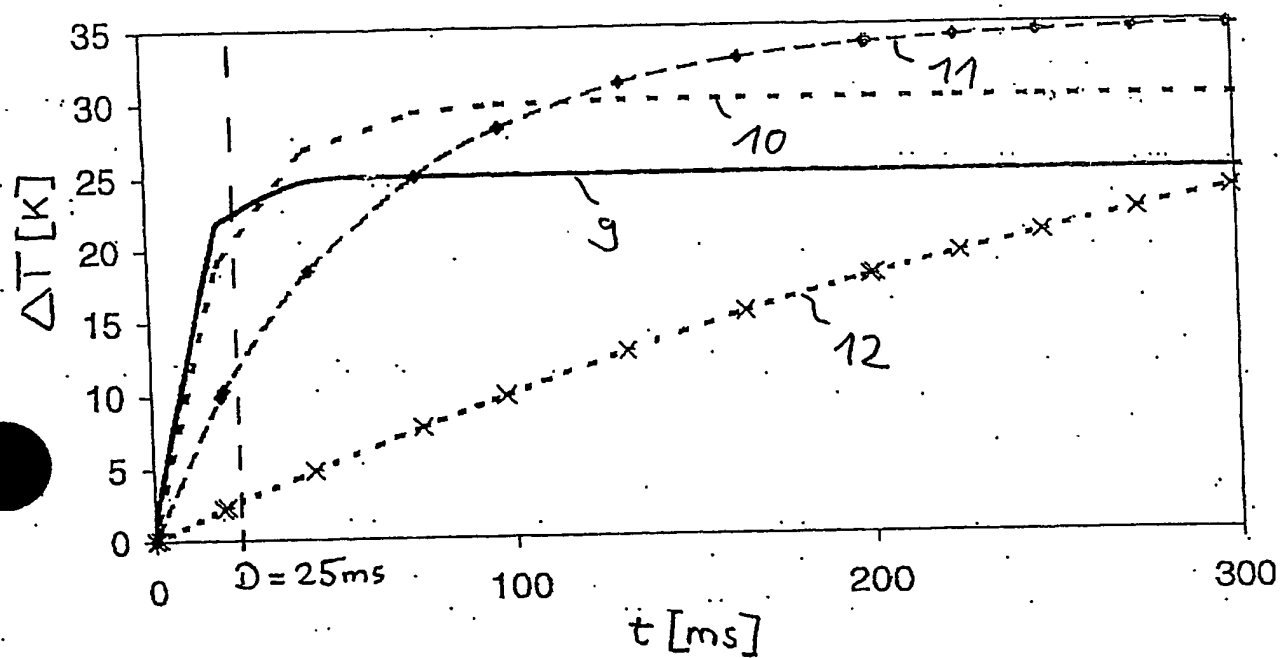


Fig. 2

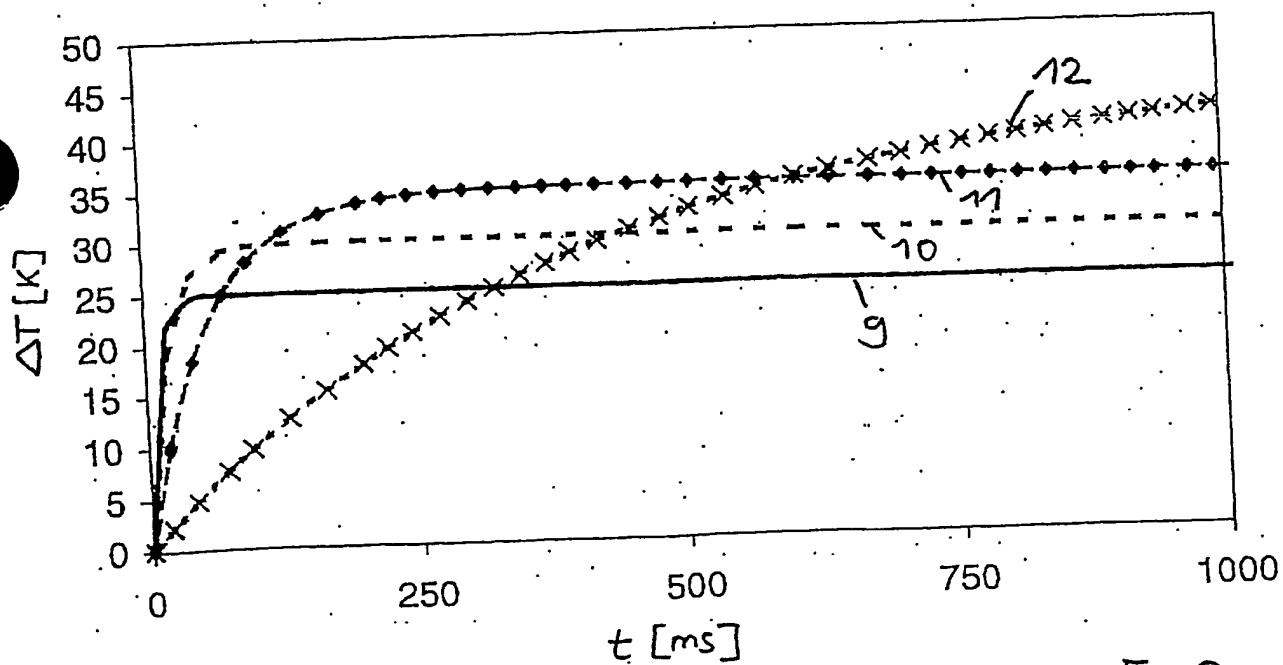


Fig. 3

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE04/002603

International filing date: 24 November 2004 (24.11.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 103 55 602.8
Filing date: 28 November 2003 (28.11.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 16 February 2005 (16.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.